نشریه علوم باغبانی ایران
دوره ۴۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ (ص۱۸۴-۱۷۵)

بررسی کارایی مصرف آب و کود در کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای با استفاده از خشکی‌دهی قسمتی از ریشه و کاربرد سوپرجاذب

مسعود موسوی رحیمی[۱]، مجتبی دلشاد[۲*]، عبدالمجید لیاقت[۳] و امیر رحمتیان[۴]
۱ و۴. دانشجویان سابق کارشناسی ارشد، ۲ و ۳. دانشیار و استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۱۴ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۳/۵)

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک در گلخانه‌های تولید سبزی در ایران گسترش زیادی یافته است. اغلب تولیدکنندگان بدون توجه به نیاز آبی واقعی گیاه، محلول‌دهی به آن را انجام می‌دهند. از آنجایی که برخی بسترهای استفاده‌شده درگلخانه‌ها بیشتر از نوع بسترهای مصنوعی است و اغلب بسترهای استفاده‌شده ظرفیت نگهداری آب کمی دارند، احتمال هدررفتن مقداری از محلول مصرفی یا وقوع تنش برای گیاهان نسبتاً بالاست. چنین شرایطی می‌تواند کارایی مصرف آب و کود توسط گیاه را کاهش دهد و سبب افزایش هزینهٔ تولید شود. در این پژوهش تلاش شده است امکان افزایش کارایی مصرف آب و کود در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به‌وسیلهٔ خشکی‌دهی قسمتی از ریشه (Partial root zone drying) و هیدروژل ارزیابی شود. آزمایش در شرایط گلخانه‌ای به‌صورت طرح کرت‌های خردشده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار مشاهده در هر کرت اجرا شد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح آبیاری معمولی۵۰، ۷۰ و ۱۰۰درصد نیاز آبی و آبیاری متناوب ۵۰ و۷۰ درصد نیاز آبی بر روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای اعمال شد و بستر استفاده‌شده در سه سطح ۰، ۱ و۲ درصد وزنی هیدروژل مختلط با پرلیت به‌منزلهٔ فاکتور فرعی به کار رفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که گیاهانی که تحت تیمار خشکی‌دهی قسمتی از ریشه قرار گرفته‌اند نسبت به آبیاری کامل عملکرد کمتری داشته‌اند اما کارایی مصرف آب و کود آنها بهبود یافت. آبیاری PRD نسبت به کم‌آبیاری معمولی احتمالاً به‌علت تحریک گیاه برای تولید ریشه‌های جدید و امکان استفادهٔ بهتر از آب و کود در بستر، عملکرد بیشتری از خود نشان داد. اختلاط هیدروژل با بستر که سبب بهبود خواص فیزیکی بستر و افزایش قدرت نگهداری آن می‌شود سبب شد که آب و کود با دسترسی بهتری در اختیار ریشه قرار گیرند و موجب افزایش عملکرد و بهبود کارایی مصرف آب و کود شود. اثر هیدروژل بر کارایی مصرف آب و کود در گیاهان تحت تیمار کم‌آبیاری نقش بهتری نسبت به گیاهان تحت آبیاری کامل داشت.

واژه های کلیدی: بستر کاشت، سوپرجاذب، ظرفیت نگهداری آب، گوجه‌فرنگی.

مقدمه

خشکی یکی از تنش‌های معمول محیطی است که محدودیت‌هایی را بر تولیدات گیاهی در سطح جهانی سبب می‌شود (Stikic *et al.*, 2003). آب در بسیاری از فرایندهای مهم مانند فتوسنتز و واکنش‌های شیمیایی مانند هیدرولیزشدن نشاسته به قند در هنگام جوانه‌زنی بذر، شرکت دارد و وارد فعل و انفعالات شیمیایی می‌شود (Elahedadi., 2005). وقوع تنش آبی بر رشد و عملکرد گیاه مؤثر است و موجب تغییرات آناتومی، مورفولوژی، فیزیولوژی و مسیرهای بیوشیمیایی می‌شود. برخی از این اثرات به کاهش آماس، بعضی به کاهش پتانسیل آب و شاید برخی از آنها به کاهش پتانسیل اسمتیک در گیاه مرتبط هستند (Kochaki,1996 ;Alizade,1985). تنش آبی تأثیر زیادی بر توزیع هورمون‌هایی مانند سیتوکینین و اسید آبسیزیک در گیاه دارد. درنتیجه کمبود آب، فعالیت سیتوکنین تقلیل

تلفن: ۰۹۱۲۲۶۰۳۲۱۵ E-mail: delshad@ut.ac.ir

می‌یابد، درحالی‌که فعالیت اسید آبسیزیک افزایش می‌یابد. پیری سریع ساقه‌ها در گیاهان تحت تنش، ممکن است به‌علت کاهش تأمین سیتوکنین از ریشه‌ها باشد. افزایش اسید آبسیزیک در گیاه سبب انسداد روزنه‌ها و در نتیجه کاهش تعرق و توازن آب در خاک گیاه می‌شود (Kochaki, 2004). کشت در انواع گلخانه‌ها و محیط‌های تحت کنترل به‌منزلهٔ راهکاری در افزایش کارایی مصرف آب مورد توجه متخصصان سیاست‌گذاران، کارشناسان و کشاورزان واقع شده است (Entesari, 2007). در کشت‌های گلخانه‌ای به‌دلیل کاهش میزان تبخیر و تعرق، نیاز آبی گیاه تا حدود ۷۰درصد فضای باز و استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و کشت بدون خاک و نیز امکان افزایش عملکرد به‌ازای واحد سطح موجب بهبود کارایی مصرف آب می‌شوند (Darwish *et al*., 2003). محدودیت مصرف آب در تمامی دنیا وجود دارد (Postel, 1998)، بنابراین شناخت و اتخاذ استراتژی مدیریت آبیاری کارآمد ضروری است. بیش از ۸۵درصد مصرف آب در دنیا متعلق به کشاورزی است (Van Schilfgaarde, 1994) و کاهش اندک آب آبیاری می‌تواند به‌طور چشمگیری آب قابل استفادهٔ سایر بخش‌ها را افزایش دهد. برآورد دقیق نیاز آبی و انطباق برنامهٔ آبیاری براساس نیاز انواع گیاهان و شرایط رشد آنها (آبیاری به‌موقع و به‌اندازه) سبب افزایش بیشتر راندمان مصرف آب می‌شود (Entesari, 2007; Ebrahimi, 2005) روش‌های مدیریتی حفظ آب آبیاری مانند کم‌آبیاری (DI)[1]، آبیاری موضعی (PRD)[2] و آبیاری تناوبی (AI)[3] که روی برخی گیاهان زراعی و درختان میوه آزمایش شده‌اند نیز بهبود کارایی مصرف آب را به همراه داشته‌اند (Shahnazari *et al*., 2004).

کم‌آبیاری (DI) و خشکی‌دهی قسمتی از ریشه (PRD) برای محدودکردن رشد رویشی و بهبود راندمان مصرف آب در گیاهان چندساله مثل انگور و درختان میوه آزمایش شده‌اند. این دو روش در اساس با هم متفاوت‌اند. در DI آب مصرفی براساس مقیاس زمانی مدیریت می‌شود درحالی‌که در PRD آب براساس مقیاس مکانی مدیریت می‌شود. در DI کمبود آب در یک (یا چند) دورهٔ خاص رشد اعمال می‌شود، درحالی‌که در PRD کمبود آب به مناطق مختلف ریشه اعمال می‌شود (Krideman, 2004). چنانچه گزارش شده است، در تعدادی از محصولات مثل پنبه، گوجه‌فرنگی، گلابی، انگور و فلفل قرمز به‌وسیلهٔ PRD درصد مصرف آب نسبت به تیمارهای آبیاری کامل کاهش یافته و راندمان مصرف آب آبیاری (WUE)[4] افزایش یافته است (Zegbe *et al*., 2005). در آبیاری PRD ذرت با ۳۵درصد کاهش مصرف آب، کاهش کل زیست توده در مقایسه با تیمار آبیاری کامل ۶ـ ۱۱درصد بوده است (Kang *et al*., 2003). در آزمایش دیگری بر روی فلفل قرمز با آبیاری قطره‌ای مشاهده شد که PRD با عملکرد مشابه تیمار آبیاری کامل مصرف آب آبیاری را تا ۴۰درصد کاهش داده است (Kang *et al*., 2001) آبیاریPRD در گیاهانی مثل گوجه‌فرنگی، انگور و زیتون موجب کاهش میزان آب آبیاری تا ۵۰درصد بدون کاهش معنادار عملکرد شده است (Kang *et al*., 1998; Liang *et al*., 1996). از سویی دیگر، در کشت‌های بدون خاک مبتنی بر بسترهای کاشت مصنوعی اغلب بسترهای دانه‌های غیر آلی نظیر پرلیت ظرفیت نگهداری آب پایینی دارند (Martyn & Szor, 2001) و ممکن است بخش زیادی از محلول غذایی در هر بار محلول‌دهی از دسترس گیاه خارج و ضمن آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش کارایی مصرف آب و کود را سبب شود (Biernhaum & Verdonck & Demeyer, 2004; Bosversluys, 1998). هیدروژل سوپرجاذب[5] پلیمری آبدوست با شبکهٔ سه‌بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را دارد (Behbahani, 2005) و به نظر می‌رسد که استفاده از سوپرجاذب‌ها به‌صورت مخلوط با بستر به‌اصلاح ویژگی‌های فیزیکی بستر کمک کرده و از طریق کاهش منافذ تهویه‌ای و افزایش منافذ مویین سبب بهبود ظرفیت نگهداری آب بستر شود و به این ترتیب میزان تلفات آب و عناصر غذایی محلول را در سیستم‌های کشت هیدروپونیک

1. Deficit irrigation
2. Partial Root zone Drying
3. Alternative Irrigation
4. Water use efficiency
5. Superabsorbent hydrogel

کاهش دهد (Martyn *et al.*, ; Akhter *et al.*, 2004 2001). در آزمایشی از نوعی سوپرجاذب مخصوص در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از هیدروژل میزان عملکرد را افزایش داد و با کاهش آب مصرفی سبب بهبود کارایی مصرف آب شد (Jin-cheng *et al.*, 1998). در پژوهشی دیگر گزارش شد که افزودن هیدروژل به بستر پیت+ پرلیت + ورمیکولیت ظرفیت نگهداری آب را افزایش داد، ولی به‌علت شرایط جذب سطحی محدود در مقایسه با بستر مصنوعی تأثیری بر جلوگیری از آبشویی نیتروژن نیتراتی نداشت (Bres & Weston., 1993). در پژوهشی که بر روی خیار گلخانه‌ای کاشته‌شده در بستر پرلیت مختلط با هیدروژل انجام گرفت مشخص شد که کاربرد ۱/۵ درصدی هیدروژل می‌تواند به بهبود کارایی مصرف آب و کود کمک کند (Ahrar *et al.*, 2009). با توجه به گسترش روزافزون کشت‌های گلخانه‌ای و سیستم‌های هیدروپونیک متکی بر بستر کاشت در کشور لازم است از هم‌اکنون پژوهش‌های کاربردی مورد نیاز برای مدیریت بهتر این‌گونه واحدها انجام پذیرد. استفادهٔ بهینه از آب و عناصر غذایی از موضوعات مهمی است که نیاز به توجه خاص دارد. در این پژوهش تلاش شده است امکان افزایش کارایی مصرف آب و کود در سیستم‌های کشت بدون خاک با استفاده از اختلاط سوپرجاذب با بستر و همچنین ایجاد تنش‌های کنترل‌شده در گیاه به‌وسیلهٔ روش‌های کم‌آبیاری پژوهش و مطالعه شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در گلخانه‌های گروه علوم باغبانی دانشکدهٔ علوم و مهندسی کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفت. طرح آزمایشی استفاده‌شده در این پژوهش طرح کرت‌های خردشده بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار مشاهده در هر کرت آزمایشی بود. تیمار آبیاری در پنج سطح به‌صورت۵۰ (DI50) و ۷۰ (DI70) درصد نیاز آبی به‌صورت کم‌آبیاری، ۵۰ (PRD50) و۷۰ (PRD70) درصد نیاز آبیاری به‌صورت متناوب در طرفین محیط ریشه و تیمار ۱۰۰درصد نیاز آبی (شاهد) به‌منزلهٔ کرت اصلی در نظر گرفته شد. بدین منظور نیاز آبی گیاه به‌وسیلهٔ تشتک تبخیر مستقر در گلخانه و از طریق فرمول $ETC=k_c\ k_p\ E_{pan}$ و محاسبات مربوطه تعیین شد (Blanco & Folegatti, 2003) و تیمارها براساس مقدار نیاز آبی محاسبه‌شده، تنظیم شدند. تیمار نوع بستر به‌منزلهٔ تیمار کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. بستر پایه (شاهد) شامل پرلیت درشت بود که با ۱ و ۲ درصد وزنی پودر هیدروژل آ۲۰۰ (چگالی ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، اندازهٔ ذرات ۵۰ـ ۱۵۰ میکرومتر، حداکثر عمر ۷ سال) متعلق به پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران مخلوط شد. مقدار و دور آبیاری با استفاده از زمان‌سنج، پمپ‌ها و قطره‌چکان‌ها طوری تنظیم شد که در طول روز رطوبت کافی در بستر وجود داشته باشد و از خشک‌شدن بسترها و یا زه‌کش شدن بیش از حد محلول از ته گلدان‌ها جلوگیری شود. قطره‌چکان‌های ۴ لیتر در ساعت در این پژوهش به کار رفته است که دور آبیاری در طول دورهٔ آزمایش با توجه به تغییر نیاز آبی بوته تغییر داده می‌شد. دور آبیاری در زمان یک‌خوشه‌ای ۴ بار در روز و در مرحلهٔ ۵ خوشه به بعد ۱۴ بار در روز انجام می‌شد. میزان آبی را که در هر قطره‌چکان داده می‌شد به این صورت بود که در کمترین میزان آب ۴۰ میلی‌لیتر و در بیشترین میزان برای گیاهان شاهد ۱۰۰ میلی‌لیتر بود. برای اجرای تیمار آبیاری متناوب (PRD) بر روی گلدان‌های کرت‌های مورد نظر ۲ ردیف لوله و قطره‌چکان نصب شد و با استفاده از شیر فرمان که در انتهای هر ردیف نصب شده بود آبیاری در طرفین گلدان انجام می‌شد. در تیمار آبیاری PRD ریشه‌ها تقسیم شده و به دو طرف گلدان‌های ۷ لیتری که توسط صفحات پلاستیکی و چسب به دو قسمت تقسیم شده بودند، هدایت شدند. به‌منظور استقرار کامل گیاهان، شروع تیمار آبیاری سه هفته پس از انتقال نشاها به گلدان اصلی آغاز شد و تا پایان دوره ادامه یافت. در این پژوهش گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم سیندا متعلق به شرکت رکزوان برای تولید نشا در گلدان‌های نشایی کاشته شد و پس از گذشت ۱۴ روز در مرحلهٔ ۵ برگی به گلدان‌های اصلی انتقال داده شدند. در طول مدت کشت از محلول غذایی اختصاصی گوجه‌فرنگی (Heuvelink, 2005) با ترکیب نهایی (نیتروژن: ۱۵۰، فسفر: ۱۵۰، کلسیم: ۲۰۰،

پتاسیم: ۱۵۰، منیزیوم: ۵۰، گوگرد: ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) استفاده شد. کودهای استفاده‌شده در این آزمایش به‌صورت جامد و با قابلیت انحلال ۱۰۰درصد بوده است و به همین علت کودها را به‌صورت یک استوک ۵۰۰ برابر غلظت درآورده و در زمان مصرف از هر استوک یک لیتر در مخزن اصلی ۵۰۰ لیتری اضافه می‌شد و محلول نهایی به دست می‌آمد. محلول غذایی به‌صورت یک محلول پنج‌مرحله‌ای تنظیم شده بود میزان کودهای استفاده‌شده در هر مرحلهٔ کودی متفاوت و با دورهٔ رشدی گیاه تنظیم شده است. محلول غذایی همراه با تیمار آبیاری به گیاهان داده شد که میزان EC در طول دورهٔ رشد ۱/۴ـ ۲/۵ و میزان pH=۶/۵ بود. تربیت و هرس بوته‌های گوجه‌فرنگی به‌صورت تک‌ساقه بود و ساقهٔ اصلی به‌وسیلهٔ نخ کنفی در ارتفاع ۲متری به مفتول سیمی بسته شد. برداشت میوه از اوایل دی‌ماه ۱۳۸۸، حدود ۳ ماه پس از انتقال نشا آغاز و تا زمان جمع‌آوری بوته‌ها در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۲۶ ادامه یافت. در هر برداشت وزن میوه‌ها به‌وسیلهٔ ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری و یادداشت شد. به‌منظور تعیین وزن خشک میوه‌ها، از هر کرت آزمایشی ۵ میوه به‌صورت تصادفی انتخاب شد و نمونه‌هایی شامل برش‌های نازک و یکنواخت از تمام قسمت‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد در آون گذاشته شد. سطح برگ‌های گیاهان با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل DELTA-TDEVICESlAT اندازه‌گیری شد. در این پژوهش راندمان مصرف آب و عناصر غذایی به‌صورت عملکرد میوه برحسب گرم وزن تازه به‌ازای لیتر آب مصرفی یا گرم کود استفاده‌شده (Viets., 1962) محاسبه شد. در این روش میزان وزن تر عملکرد را بر میزان محلول مصرفی تقسیم کرده و از عدد به‌دست‌آمده به‌منزلهٔ کارایی مصرف آب استفاده شده است. به‌منظور تعیین کارایی مصرف کود، مقدار نمک استفاده‌شده در ساخت محلول غذایی در طول دوره محاسبه شد و مقدار وزنی هر یک از ترکیبات N، K، P، Mg، Ca مشخص شد و از طریق تقسیم مقدار تولید بر مقدار وزنی استفاده‌شده هر یک از عناصر ذکرشده، کارایی مصرف آنها محاسبه شد. تحلیل نتایج به کمک نرم‌افزار SAS 9.1 و MSTAT C و مقایسهٔ میانگین‌ها از روش آزمون دانکن در سطح ۵درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

بررسی داده‌ها نشان می‌دهد بین تیمارهای آبیاری و نیز بسترهای کشت از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب و کود توسط گیاه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱درصد مشاهده شد (جدول۱) و در تیمارهای آبیاری اختلاف معناداری از نظر صفات رویشی تعداد برگ و سطح برگ در سطح احتمال ۱درصد مشاهده شد (جدول۱) اثر متقابل در تیمارهای هیدروژل و آبیاری نیز بر کارایی مصرف آب و کود و از نظر صفات رویشی تعداد برگ و سطح برگ اختلاف معناداری در سطح ۱درصد نشان دادند (جدول۱). همچنین در تیمارهای بستر کشت از نظر صفات رویشی تعداد برگ و سطح برگ اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول۱).

جدول۱.تجزیهٔ واریانس اثر روش‌های مختلف آبیاری و هیدروژل بر صفات اندازه‌گیری شده در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم سیندا

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (df)	میانگین مربعات								
		تعداد برگ	سطح برگ	عملکرد	کارایی مصرف آب	کارایی کود مصرفی (گرم عملکرد /گرم کود مصرفی)				
						Mg	K	Ca	P	N
بلوک	۲	۴/۲۷۲ ns	۷۹/۸۸ ns	۲۰۰۹۳/۳۲ *	۱۴/۵۵ *	۹۱۰۴/۴۴ *	۴۴۹/۴۲ *	۶۴۶/۹۷ *	۵۹۷۳/۲ *	۱۰۱۱/۶*
آبیاری	۴	۱۴۱/۲۰۸ **	۲۴۰۶۵۹۰/۰۴ **	۵۷۱۷۲۵۳/۸۳ **	۴۲۲/۰۸ **	۲۶۳۶۶/۸۱ **	۱۳۰۲۴/۴۲ **	۱۸۷۵۹/۴۹ **	۱۶۵۹۸۷/۳۱ **	۲۹۲۹۶/۵۳ **
خطای اصلی	۸	۱۵/۳۶۲ ns	۵۲۹۱/۸۲ ns	۵۰۰۶۰/۳۸ ns	۴/۲۹ ns	۲۶۸۸/۰۸ ns	۱۳۲/۶۸ ns	۱۹۱/۰۰ ns	۱۷۶۶/۶۷ ns	۲۹۸/۶۷ ns
هیدروژل	۲	۲۱/۸۷۲ ns	۲۴۵۶۴۲/۲۷ ns	۳۹۹۰۲۸/۶۵ **	۴۱/۹۵ **	۲۶۲۲۰/۱۵ **	۱۲۹۴/۸۴ **	۱۸۶۴/۶ **	۱۶۷۶۲/۰۰ **	۲۹۱۳/۳۵ **
آبیاری×هیدروژل	۸	۴۳/۵۲۵ **	۱۱۰۵۲۴/۷۵ **	۱۰۰۵۱۶۳/۱۹ **	۱۵۴/۳۳ **	۹۶۴۶۷/۵۴ **	۴۷۶۳/۶۸ **	۶۸۵۹/۵۴ **	۶۱۸۵۸/۷۹ **	۱۰۷۱۸/۶۱ **
خطای فرعی	۲۰	۱۰/۵۰۲	۴۳۷۶/۹۸	۴۳۶۱۵/۲	۳/۴۵	۲۱۶۱/۱۹	۱۰۶/۷	۱۵۳/۶۳	۱۳۹۹/۵	۲۴۰/۱۳
ضریب تغییرات	-	۶/۹۲	۵/۱۱	۵/۷۵	۵/۲۳	۵/۲۲	۵/۲۲	۵/۲۲	۵/۲۱	۵/۲۵

** اختلاف معنادار در سطح ۱درصد * اختلاف معنادار در سطح ۵درصد ns: نبود اختلاف معنادار.

عملکرد

در مقایسهٔ میانگین عملکرد بین تیمارهای آبیاری، بیشترین عملکرد در آبیاری کامل (۱۰۰درصد نیاز آبی) مشاهده شد و عملکرد در تیمارهای PRD در مقایسه با کم‌آبیاری بیشتر بود (جدول۲). میزان عملکرد در بستر دارای ۲درصد وزنی هیدروژل بیشتر از دو بستر دیگر بود

(جدول۳). از دیدگاه اثر متقابل، بیشترین عملکرد در گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل و بستر دارای ۲درصد وزنی هیدروژل و کمترین عملکرد در گیاهان تحت تیمار کم‌آبیاری ۵۰درصد نیاز آبی و بستر فاقد هیدروژل مشاهده شد (جدول۴).

کارایی مصرف آب و کود

گیاهان رشدیافته در بسترهای حاوی ۲درصد وزنی هیدروژل نسبت به دو بستر دیگر بالاترین کارایی مصرف آب و کود را داشت (جدول۳). از میان تیمارهای آبیاری در تیمار PRD50 گیاهان بیشترین کارایی آب و کود و در آبیاری کامل(۱۰۰درصد نیاز آبی) کمترین کارایی را نسبت به دیگر تیمارها نشان دادند (جدول۲). در اثر متقابل بستر و نوع آبیاری، گیاهانی تحت آبیاری PRD50 و دارای بستر ۱درصد هیدروژل بالاترین کارایی مصرف آب و کود را داشتند و کمترین کارایی در کم‌آبیاری ۵۰درصد نیاز آبی با بستر فاقد هیدروژل مشاهده شد (جدول۴).

جدول۲. مقایسهٔ میانگین صفت بر اثر تیمارهای کم‌آبیاری، خشکی‌دهی قسمتی از ریشه و آبیاری کامل در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم سیندا

تیمارها	تعداد برگ	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	عملکرد در گیاه (گرم)	کارایی مصرف آب (گرم/لیتر)	کارایی مصرف کود (گرم عملکرد/گرم کود مصرفی)				
					Mg	K	Ca	P	N
خشکی‌دهی قسمتی از ریشه ۵۰ درصد نیاز آبی	۴۷/۵ b	۵۵۹۷۶/۰۲ b	۳۶۲۵/۲ c	۴۷/۰۸ a	۱۱۷۷/۰۲ a	۲۶۱/۵۶ a	۳۱۳/۸۷۲ a	۹۴۱/۶۲ a	۳۹۲/۳۴ a
کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی	۴۲/۸۳ c	۵۶۴۲۹/۷۲ b	۲۵۲۷/۹ e	۳۴/۸۲ b	۸۲۰/۷۴ c	۱۸۲/۳۸۷ c	۲۱۸/۸۶۵ c	۶۵۶/۵۹ c	۲۷۳/۵۸۱ c
خشکی‌دهی قسمتی از ریشه ۷۰ درصد نیاز آبی	۴۴/۶۶b	۵۷۱۱۷/۴۱ a	۳۹۵۰/۷ b	۳۶/۶۴ b	۹۱۶/۶۳ b	۲۰۳/۶۴۳ b	۲۴۴/۳۲۱ b	۷۴۵/۴۱ b	۳۰۵/۵۴۳ b
کم‌آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی	۴۲/۱۱ c	۵۷۰۵۷/۳۸ a	۳۳۴۲/۷ d	۳۱ c	۷۷۵/۵۷ c	۱۷۲/۳۰۵ c	۲۰۶/۷۲۴ c	۶۳۰/۷ c	۲۵۸/۵۲۵ c
آبیاری کامل	۵۲/۷۷a	۵۷۱۲۲/۷۳ a	۴۶۹۸/۲ a	۳۰/۵ c	۷۶۲/۶۹ c	۱۶۹/۴۸۷ c	۲۰۳/۳۸۴ c	۶۱۰/۱۵ c	۲۵۴/۲۳ c

*در هر ستون مقادیر دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵درصد در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول۳. مقایسهٔ میانگین صفات بر اثر تیمارهای سطوح مختلف هیدروژل بر روی صفات اندازه‌گیری شده در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم سیندا

تیمارها	تعداد برگ	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	عملکرد در گیاه (گرم)	کارایی مصرف آب (گرم/لیتر)	کارایی مصرف کود (گرم عملکرد /گرم کود مصرفی)				
					Mg	K	Ca	P	N
بستر فاقد هیدروژل	۴۵/۵ a*	۵۶۵۹۵/۲۷ a	۳۶۲۰/۸۳ b	۳۵/۵۶ b	۸۸۹/۲۸ b	۱۹۷/۵۹ b	۲۳۷/۰۹ b	۷۱۵/۹۸ b	۲۹۶/۴۲ b
۱٪وزنی هیدروژل	۴۶/۹۳ a	۵۶۷۹۰/۴۴ a	۳۴۷۰/۰۳ b	۳۳/۹۶ b	۸۴۹/۳۶ b	۱۸۸/۷۲ b	۲۲۶/۴۵ b	۶۸۳/۹۳ b	۲۸۳/۱۲ b
۲٪وزنی هیدروژل	۴۷/۹ a	۵۶۸۳۶/۲۵ a	۳۷۹۵/۹۳ a	۳۷/۳۱۱ a	۹۳۲/۹۵ a	۲۰۷/۳ a	۲۴۸/۷۴ a	۷۵۰/۷۷ a	۳۱۰/۹۸ a

*در هر ستون مقادیر دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵درصد در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول۴. مقایسهٔ میانگین اثر تیمارهای سطوح مختلف هیدروژل به‌کاررفته و روش‌های آبیاری بر روی صفات اندازه‌گیری شده در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم سیندا

تیمارها	تعداد برگ	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	عملکرد در گیاه (گرم)	کارایی مصرف آب (گرم/لیتر)	کارایی مصرف کود (گرم عملکرد/گرم کود مصرفی)				
					Mg	K	Ca	P	N
PRD50+فاقد هیدروژل	۴۳/۶۷ cde*	۵۵۹۸۹/۸ f	۳۵۹۵/۱۷ ef	۴۶/۶۹ b	۱۱۶۷/۲۶ b	۲۵۹/۳۹ b	۹۳۳/۸۱ b	۳۱۱/۲۷ b	۳۸۹/۰۹ b
PRD50+۱٪هیدروژل	۴۸ bcd	۵۵۹۶۲/۱۳ f	۴۱۳۳/۳۳ cd	۵۳/۶۸ a	۱۳۴۱/۹۹ a	۲۹۸/۲۲ a	۱۰۷۳/۵۹ a	۳۵۷/۸۶ a	۴۴۷/۳۳ a
PRD50+۲٪هیدروژل	۵۰/۸۳ b	۵۵۹۷۶/۱۲ f	۳۱۴۷/۱۷ gh	۴۰/۸۷ c	۱۰۲۱/۸۱ c	۲۲۷/۰۷ c	۸۱۷/۴۵ c	۲۷۲/۴۸ c	۳۴۰/۶ c
DI50+فاقد هیدروژل	۴۶/۸۳ bcde	۵۵۹۰۹/۴ f	۱۴۹۸/۳۳ j	۲۰/۴۵ i	۵۱۱/۱۵ i	۱۱۲/۲۵ i	۱۳۶/۳۱ i	۴۰۸/۹۲ i	۱۷۰/۳۸ i
DI50+۱٪هیدروژل	۴۲/۵ de	۵۶۶۴۰/۶۷ e	۱۵۶۵/۱۷ i	۳۲/۳۳ fg	۸۱۱/۱۷ fg	۱۸۰/۹۳ fg	۲۱۶/۵۱ fg	۶۰۶/۵۴ fg	۲۶۹/۳۹ fg
DI50+۲٪هیدروژل	۵۱/۱۷ b	۵۶۷۳۹/۰۸ e	۳۵۲۰/۱۷ fg	۴۵/۷۲ b	۱۱۴۲/۹۱ b	۲۵۳/۹۸ b	۹۱۴/۳۳ b	۳۰۴/۷۸ b	۳۸۰/۹۷ b
PRD70+ فاقدهیدروژل	۴۲/۵ de	۵۷۱۰۴/۸۷ abc	۳۹۳۵/۸۳ de	۳۶/۵۱ de	۹۱۳/۱۹ de	۲۰۲/۸۸ de	۷۴۲de	۷۴۲de	۳۰۴/۴ de
PRD70+۱٪هیدروژل	۴۵/۱۷ bcde	۵۷۱۰۴/۸۷ abc	۳۷۳۳ ef	۳۴/۶۳ ef	۸۶۶/۱۳ ef	۱۹۲/۴۲ ef	۲۳۰/۸۶ ef	۷۰۴/۳۴ ef	۲۸۸/۷۱ ef
PRD70+۲٪هیدروژل	۴۶/۳۳ bcde	۵۷۱۳۶/۶۳ ab	۴۱۸۳/۱۷ cd	۳۸/۸۰ cd	۹۷۰/۵۷ cd	۲۱۵/۶۳ cd	۷۸۹/۲۸ cd	۲۵۸/۷ cd	۳۲۳/۵۲ cd
DI70+ فاقد هیدروژل	۴۵ bcde	۵۷۰۰۵/۷۸ cd	۳۵۰۱ fg	۳۲/۴۸ fg	۸۱۲/۳۰fg	۱۸۰/۴۶ fg	۲۱۶/۵۱ fg	۶۶۰/۵۷ f	۲۷۰/۷۷ fg
DI70+۱٪هیدروژل	۴۰/۶۷ e	۵۷۰۴۳/۳ bcd	۳۵۱۶/۳۳ fg	۳۲/۶۲ fg	۸۱۵/۸۵ fg	۱۸۱/۲۵ fg	۲۱۷/۴۶ fg	۶۶۳/۴۶ f	۲۷۱/۹۵ fg
DI70+۲٪هیدروژل	۴۰/۶۷ e	۵۷۱۲۳/۰۷ abc	۳۰۱۰/۸۳ h	۲۷/۹۳ h	۶۹۸/۵۷ h	۱۵۵/۲۰h	۱۸۶/۲۰h	۵۶۸/۰۸ h	۲۳۲/۸۶ h
آبیاری کامل+فاقدهیدروژل	۴۹/۵b c	۵۶۹۶۰/۶۵ d	۴۵۷۳/۸۳ b	۲۹/۷۰gh	۷۴۲/۵۱ gh	۱۶۵ gh	۱۹۸ gh	۵۹۴ gh	۲۴۷/۵ gh
آبیاری کامل+۱٪دهیدروژل	۵۸/۳۳ a	۵۷۲۰۱/۲۱ a	۴۴۰۲/۳۳ bc	۲۸/۵۹ h	۷۱۴/۶۶ h	۱۵۸/۸۱ h	۱۹۰/۵۸ h	۵۷۱/۷۳ h	۲۳۸/۲۲ h
آبیاری کامل+۲٪دهیدروژل	۵۰/۵ b	۵۷۲۰۶/۳۳ a	۵۱۱۸/۳۳ a	۳۳/۲۴ f	۸۳۰/۹۰f	۱۸۴/۶۴ f	۲۲۱/۵۷ f	۶۶۴/۷۲ f	۲۷۶/۹۷ f

*در هر ستون مقادیر دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵درصد در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

تعداد برگ و سطح برگ

بیشترین تعداد برگ در گیاهان تحت آبیاری کامل و کمترین تعداد در کم‌آبیاری ۵۰ و ۷۰ درصد مشاهده شد. در مقایسهٔ اثرات متقابل تیمارها بیشترین تعداد برگ در تیمار آبیاری کامل دارای بستر ۱درصد هیدروژل دیده شد. بیشترین سطح برگ نیز در میان تیمارهای آبیاری در گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل، کم‌آبیاری PRD50, 70 مشاهده شد. از دیدگاه اثر متقابل بیشترین سطح برگ در تیمار آبیاری کامل و بستر دارای ۱ و ۲ درصد هیدروژل و کمترین سطح برگ در تیمار کم‌آبیاری و بستر بدون هیدروژل وPRD50 و بستر بدون هیدروژل مشاهده شد.

بحث

افزودن هیدروژل به بستر موجب سهولت دسترسی ریشهٔ گیاه به آب و عناصر غذایی و کاهش استرس خشکی می‌شود و شرایط بهتری برای گیاه فراهم می‌کند (El-hady *et al*., 2006). با این شرایط گیاه در کم‌آبیاری هم با تنش کمتری مواجه است و عملکرد بهتری را نسبت به گیاهان موجود در بسترهای فاقد هیدروژل از خود نشان می‌دهد. هیدروژل از طریق کاهش منافذ تهویه‌ای و افزایش منافذ مویین سبب بهبود ظرفیت نگهداری آب بستر می‌شود و به این ترتیب میزان تلفات آب و عناصر غذایی محلول را در سیستم‌های کشت هیدروپونیک کاهش می‌دهد. از طرف دیگر تنش کم‌آبی با کاهش تورژسانس گیاه سبب کم‌شدن میزان رشد و توسعهٔ سلول‌ها، بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش جریان دی‌اکسیدکربن و کربوهیدرات‌ها از میان غشای سلولی شده و بر ذخیرهٔ قند و رابطهٔ منبع- مخزن اثر می‌گذارد (El-hady, 2006). کم‌شدن میزان رشد سبب کاهش سطح برگ موجود برای فتوسنتز شده و درنهایت مقدار عملکرد را کاهش می‌دهد (Passioura, 1988). در این آزمایش در بسترهای دارای هیدروژل آب بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و درمجموع وضعیت بهتری از نظر رشد و عملکرد و برای گیاهان فراهم آمد. از سویی دیگر، در این آزمایش محلول غذایی به روش‌های مختلفی در اختیار گیاه قرار داده شد. در گیاهانی که به میزان ۱۰۰درصد نیاز آبی و به‌صورت نرمال محلول دریافت می‌کردند، در کل دورهٔ کشت هر بوته به این مقدار آب و کود دریافت کرده است: آب ۱۵۴ لیتر، نیتروژن ۱۸/۴۸، فسفر ۷/۷، کلسیم ۲۳/۱، پتاسیم ۲۷/۷۲ و منیزیم ۶/۱۶ گرم. هنگامی که میزان آبیاری به میزان ۳۰درصد در تیمار DI70 یا ۵۰درصد در تیمار DI50 کاهش داده شد، افت شدید عملکرد مشاهده شد. مقدار کاهش عملکرد این دو تیمار بر اثر کاهش مقدار آب داده‌شده به‌ترتیب حدود ۲۹ و ۴۶ درصد ثبت شد که تقریباً معادل همان مقادیر کاهش مقدار آب داده‌شده است (جدول۲). نکتهٔ قابل توجه اینکه، در تیمارهای آبیاری متناوب دو قسمت ریشه به همراه کاهش مقدار کل آب داده‌شده یعنی تیمارهای PRD70 و PRD50 نیز مقدار کاهش آب دقیقاً معادل تیمارهای کم‌آبیاری یعنی معادل ۳۰ و ۵۰ درصد آبیاری کامل بود درحالی‌که مقدار کاهش عملکرد ناشی از این تیمارها به‌ترتیب حدود ۱۶ و ۲۳ محاسبه شد (جدول۲). مقایسهٔ دو نوع کم‌آبیاری نشان می‌دهد که DI با توجه به داشتن میزان آب و بستر یکسان کاهش متناسبی بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب و کود گذاشته است که تأثیر مستقیم تنش آبی و کاهش فعالیت‌های بیولوژیک در جهت ذخیرهٔ مواد فتو سنتزی را نشان می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً اعمال تیمارهای خشکی‌دهی متناوب محیط ریشه (PRD) می‌تواند از شدت تأثیر تیمارهای خشکی یا کم‌آبیاری بکاهد. نتایج حاصله با نتایج به‌دست‌آمده توسط پژوهشگران دیگر(Liu *et al*., 2006; Kirda *et al*., 2006) (Wahbi *et al*., 2005; JIN-cheng *et al*., 1998) تا حد زیادی همخوانی دارد. کاهش مقدار آب مصرفی به همراه عدم کاهش چشمگیر (مورد انتظار) عملکرد در تیمارهای PRD سبب شد کارایی مصرف آب این تیمارها رده بالایی را در مقایسه با سایر تیمارها به دست آورد (جدول۲). کم‌آبیاری در اکثر گزارشات بیان‌شده موجب کاهش عملکرد شده است. در صورتی که کم‌آبیاری به‌صورت PRD انجام شود عملکرد در مقایسه با آبیاری کامل ۱۰۰درصد نیاز آبی به‌علت ایجاد تنش کنترل‌شده برای گیاه کاهش کمتری را در عملکرد نشان می‌دهد. ایجاد سیکل تر و خشک توسط PRD سبب تولید ریشه‌های ثانویهٔ جدید می‌شود و قابلیت دسترسی مواد مغذی خاک را برای گیاهان بیشتر

می‌کند (Kang *et al*., 1998). ظاهراً چنین ریشه‌های جدیدی در شرایط خشکی خاک به اندازهٔ کافی باطراوت هستند، همچنین ممکن است این ریشه‌های ثانویه جذب مواد مغذی از خاک را افزایش دهند. خشک‌شدن بستر و سپس ترشدن مجدد آن می‌تواند تولید و توزیع ریشه‌های ثانویه را گسترش دهد و هدایت هیدرولیکی سلول به سلول ریشه را افزایش دهد (Liang *et al*., 1996). در نتایجی مطابق با نتایج این آزمایش، تیمار PRD با ایجاد تنش‌های هدایت‌شده در گیاه سبب بالابردن کارایی مصرف آب و کود مصرفی شد و PRD توانست جذب کلی نیتروژن و فسفر و همچنین کارایی مصرف نیتروژن و فسفر را در مقایسه با آبیاری سنتی افزایش دهد (Kirda *et al*., 2006; Zegbe *et al*., 2005; Han & Kang., 2003). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج (Syvertsen *et al*., 2004) که گزارش کردند بستر مختلط با هیدروژل میزان عملکرد را به‌ازای واحد آب و کود مصرفی افزایش می‌دهد و از این‌رو قادر است کارایی مصرف آب و عناصر غذایی توسط گیاه را بهبود بخشد، همخوانی دارد. چنین نتایجی در آزمایش دیگر نیز به دست آمده است. آنها بیان کردند که کاربرد ۱/۵درصد وزنی پلیمر توانسته بدون تأثیر بر روی صفات کیفی میوه از طریق کاهش میزان زهکش سبب افزایش کارایی مصرف آب و کود توسط گیاه خیار گلخانه‌ای شود (Ahrar *et al*., 2009). گزارش شده است که برای نگه‌داشتن اثر تنظیم‌کنندگی PRD بر روزنه‌ها که با ایجاد پیام‌های شیمیایی که از طریق ریشهٔ گیاه برای سیستم روزنه‌ای برگ داده می‌شود و موجب می‌شود که گیاه در شرایط استرس جزئی روزنه‌ها بسته‌تر و تعرق کمتر صورت گیرد و به همین دلیل لازم است تناوب تر و خشک قسمت‌های ریشه با دورهٔ تناوب مناسب انجام شود که این دورهٔ تناوب به نوع گیاه، نیاز تبخیری و شرایط بستر بستگی دارد (Stoll *et al*., 2000). گزارش‌ها نشان می‌دهند که اثر کم‌آبیاری و PRD روی کاهش رشد برگ به‌صورت کاهش تعداد برگ‌ها و سطح برگ نمایان می‌شود (Stikic *et al*., 2003). این تیمارها سبب کاهش مقدار سیتوکنین در ریشه‌ها، نوک شاخه‌ها و غنچه‌ها و کاهش رشد شاخه‌ها می‌شود (Stoll *et al*., 2000). با توجه به رابطهٔ مستقیم فعالیت‌های بیولوژیک در گیاه و ایجاد یک شرایط مقابله با کم‌آبی تمامی بخش‌های گیاه را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد. به‌دلیل خاصیت‌های فیزیکی که در بستر پرلیت همراه با هیدروژل ایجاد شده است جذب آب به‌صورت دانه‌ای در بستر صورت نمی‌گیرد. با افزایش میزان آب در دسترس گیاه و همچنین ایجاد شرایط سازگاری در گیاه از طریق کنترل روزنه‌ای و فعالیت‌های هورمونی برگ موجب بهینه‌کردن مصرف آب در گیاه می‌شود. کاهش تبخیر و تعرق در گیاه اثر مستقیم خود را به‌صورت کاهش رشد رویشی در گیاه بروز می‌دهد. نتایج حاصل با نتایج به‌دست‌آمده توسط پژوهشگران دیگر (Davies *et al*., 2000; Stikic *et al*., 2003) مطابقت دارد. کاهش رشد رویشی موجب می‌شود که تبخیر و تعرق و همچنین مصرف آب و کود مصرفی در گیاه کاهش یابد که به این صورت به گیاه کمک کرده تا بخش بیشتری از محلول مصرفی دریافتی را در فرایند تولید به کار گیرد و درنتیجه کارایی مصرف آب و کود در گیاه را بهبود می‌بخشد. تغییرات تعداد و سطح برگ گیاهان بین تیمارها تقریباً شبیه تغییر عملکرد گیاهان بود. میانگین میزان مصرف آب در تیمارهای مختلف بستر در طول دوره یکسان بود. بهبود وضعیت فیزیکی بسترها در اثر افزودن ۲درصد هیدروژل سبب بهبود وضعیت رشد و عملکرد گیاهان شده و به‌علت مساوی‌بودن مقدار آب مصرفی، سبب بهبود کارایی مصرف آب این تیمار شد (جدول۲). این موضوع نشان می‌دهد که حتی در تیمار آبیاری کامل نیز احتمال بروز تنش‌های جزئی در بسترهایی که قدرت نگهداری آب کمی دارند وجود دارد. احتمالاً هیدروژل قادر است از بروز چنین تنش‌های جزئی نیز جلوگیری کند. مطالعهٔ اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و بستر بر صفات اندازه‌گیری شده توضیحات بالا را به‌صورت بهتری قابل درک می‌سازد (جدول۴). بین اثرات متقابل کمترین رشد و عملکرد در تیمار کم‌آبیاری DI50 و بسترهای فاقد هیدروژل دیده می‌شود که نشان‌دهندهٔ وجود تنش‌های شدید و نامساعدبودن وضعیت رطوبت محیط ریشه است. تیمار آبیاری کامل و ۲درصد هیدروژل، بهترین شرایط رطوبتی بستر را فراهم کرده و درنتیجه بالاترین مقادیر رشد و عملکرد را از آن گیاهان رشد کرده در این تیمارها ساخته است. مجموعه

مباحث مطرح‌شده درخصوص تأثیر تیمارهای آبیاری و بستر بر میزان و کارایی مصرف آب عیناً در مورد کارایی مصرف عناصر غذایی نیز مصداق دارد چراکه در این آزمایش منظور از آب، محلول غذایی بوده که همواره غلظت ثابتی از عناصر را به همراه داشته است. به عبارت ساده‌تر با افزایش جذب محلول غذایی توسط گیاه به‌صورت هم‌زمان آب و عناصر بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، اگرچه ممکن است برخی ملاحظات یا تفاوت‌ها مطرح باشند که می‌بایست در آزمایش‌های آتی مورد دقت و توجه بیشتری قرار گیرند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان دریافت که استفاده از تکنیک خشکی‌دهی قسمتی از ریشه و کاربرد هیدروژل در بستر در شرایطی که کمبود اجباری آب آبیاری وجود داشته باشد می‌تواند نقش بسزایی در کارایی مصرف آب و کود داشته باشد. با توجه به قیمت روزافزون کودهای استفاده‌شده در تهیهٔ محلول غذایی و محدودیت دسترسی به منابع آبی با کیفیت مناسب، استفاده از پلیمرهای هیدروژل به‌صورت مخلوط با بستر و کنترل تنش‌های اجتناب‌ناپذیر توسط روش‌های نوین آبیاری به‌منزلهٔ راهکاری برای بهبود استفاده از آب و کود و کاهش هزینه‌های تولید قابل توصیه است. در این پژوهش مخلوط‌کردن ۲درصد وزنی هیدروژل با پرلیت درشت تیمار مناسبی تشخیص داده شد. البته به‌علت جدیدبودن روش خشکی‌دهی قسمتی از ریشه این تکنیک نیازمند بررسی بیشتر و انجام پژوهش‌های کاربردی بیشتری است تا در موارد خاص به کار گرفته شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت پژوهشی دانشکدهٔ پردیس و دانشگاه تهران برای تأمین هزینه‌های پژوهش کمال تشکر را دارند. همچنین از همکاری ارزشمند پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران به جهت تأمین سوپرجاذب مورد نیاز این پژوهش و نیز از زحمات کارکنان گلخانه‌های گروه علوم باغبانی و آقای مهندس سعید ایلخانی صمیمانه قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Ahrar, M. & Delshad, M. (2009). Improving water/fertilizer use efficiency of hydroponically culture greenhouse cucumber by grafting and hydrogel amendment. *Journal of Horticultural Sciences*, 23 (1) ,69-77.(In Farsi)
2. Akhter, J. K., Mahmood, K. A., Malik, A., Mardan, M., Ahmad. & Iqbal, M. (2004). Effects of hydro gel amendment on water storage of sandy loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil Environment*, 50(10) ,463-469.
3. Alizade, A. (1985). *Irrigation Water Quality*. Shaynbrg and Avstr (translated), (pp.67-68.) Institute of Astan Qods Razavi. (In Farsi)
4. Behbahani, M. (2005). *The effect of hydrogel and deficit irrigation in nutrient elements maintaining in hydroponic culture*. The third training course and specialist seminar in hydrogel applications in agriculture. (pp.86-89.) Iran Polymer and Petrochemical Institute. Tehran
5. Biernhaum, A. & Bosversluys, N. (1998). water management. *Hort Technology*, 8(4), 7-8.
6. Blanco, F. & Folegatti, M.V. (2003). Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Revista Brasileria de Engenharria Agricola Ambiental*,7(2),285-291.
7. Bres,W. & Weston, L. A. (1993). Influence of gel additives on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium. *Hortscience*, 28(10), 1005-1007.
8. Cifre, J., Bota, J., Escalona, M., Medrano, H. & Flexas, J. (2005). Physiological tools for irrigation scheduling Grapevine (*Vitis vinifera* L.) An open gate to improve water-use efficiency?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106,159-170.
9. Daivies, W., Bancon, A., Thompson, D. S., Sobigh, W. L. & Rodiguez, G. (2000). Stomatal contorol by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytol*ogist Trust, 153,449-460.
10. Darwish, T., Atallah, T., Hajhasan, S. & Chranek, A. (2003). Management of nitrogen by fertigation of potato in Lebanon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67,1-11.

11. Ebrahimi, N. (2005). *Estimation of water requirement of greenhouse plants* (1st ed). Technical training workshops micro irrigation methods. (pp.45-46.) National Committee on Irrigation and Drainage pub. (In Farsi)
12. Elahedadi, A. & moazen, GH. (2005). *The Effect of different amounts of hydrogel A 200 and level of irrigation on growth and yield of corn's*.In: Proceedings of Third specialized application training and seminar hydrogel. Petrochemical Iranian Polymer. Iran. Tehran. (pp.5-6.). (In Farsi)
13. El-hady, O. A. & Wanas, Sh. A. (2006). Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated With acryl amid hydrogels. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(12), 1293-1297.
14. Entesari, M. (2007). *Water use efficiency in greenhouse cultivation*. (pp.180-181). Irrigation and Drainage Iranian National Committee Publications. (In Farsi)
15. Heuvelink, E. (2005). *TOMATOES*. (pp. 339-340.) CABI Publishing.
16. Han, Y. & kang, S. (2002). Preliminary study on effects of root-divided alternate irrigation on nutrient uptake by maize. *Transactions of the CSAE,* 18 (1), 57-59.
17. JIN-cheng, F. & JiJinng, Q. *Root irrigation with superabsorbent polyacrilamid*.(1998). Retrieved, May 10, 1999. www.Watertech.cn/English/Root%Irri.pdf
18. Kang, S., Liang, Z.W. & Zhang, Hu. J. (1998). Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. *Agricultural Water Management,* 38, 69-76.
19. Kang, S., Zhang, L., Hu, X., Li, Z. & Jerie, P. (2001). An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulturae,* 89, 257-267.
20. Kang, S., Hu, X., Du, T., Zhang, J. & Jerie, P. (2003). Transpiration coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of pear tree (*Pyrus communis* L.) under alternative partial root-zone drying conditions. *Hydrological Process*es, 17, 1156-1176.
21. Kirda, C., Topologlu, F., Topcu, S. & Kaman, H. (2006). *Mandarin Yield Response to Partial Root Drying and Conventional Deficit Irrigation*. Ph.D. Thesis. Cukurova University, Faculty of Agriculture, 01330 Adana-TURKEY. 3-8.
22. Kochaki, A. (2004). *Stady to crop and indreeding in Without irrigation agriculture*. (pp. 87-89.) Mashhad Jahad University Press. (In Farsi)
23. Kouchaki, A. (1996). *Agricultural ecology perspective*. (pp.42-43.) Mashhad Jahad University Press. (In Farsi)
24. Krideman, P. & Goodwin, I. (2004). Regulated deficit irrigation and partial root zone drying. *Irrigation Insights*, 4, 2-28.
25. Liang, J., Zhang, J. & Wong, M. H. (1996). Effects of air-filled soil porosity and aeration on the initiation and growth of secondary roots of maize(*Zea mays* L.). *Plant and Soil*, 186,245-254.
26. Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E. & Jensen, C. R. (2006). Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae,* 109, 113-117.
27. Martyn,W. & Szor, V.(2001). Influence of super absorbents on the physical properties of horticultural substrates. *Internation Agrophysics*, 15, 87-94.
28. Passioura, J.B. (1988). Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15, 687-693.
29. Postel, S. L.(1998). Water for food production: will there be enough in 2025? *Bio Science,* 48, 629-637.
30. Shahnazari, A., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E., Liu, F. & Andersen, V. (2004). *Partial rootzone drying for water saving*. Published online in public domain of The Royal Veterinary and Agricultural Univrsity, Hoejbakkegaard All 9, DK-2630 Taastrup, Denmark.
31. Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, Lj. & Zdravkovic, J. (2003). Partial Root Drying (PRD): A new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulgarian Journal of Plant physiology, special. ISSUE* 164-171.
32. Stoll, M., Loveys, B. & Dry, P. (2000). Hormonal changes induced by partial root zone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1627-1634.
33. Syvertsen, J. P. & Dunlop, J.M. (2004). Hydrophilic gel amendments to sand soil can crease growth and nitrogen uptake efficiency of citrus seedling. *Hortscience*, 39(2), 267-271.
34. Van Schilfgaarde, J. (1994). Irrigation-a blessing or a course. *Agricultural water management*, 25, 203-219.
35. Verdonck, O. & Demeyer, P. (2004). The influence of the particle size on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae*, 644, 99-101.
36. Viets, F.G. (1962). Fertilizers and the efficient use of water. *Advances in Agronomy*, 14, 223-264.

37. Wahbi. S.,Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H. & Seeaj, R. (2005). Effects of partial root zone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate. II. Physiological and agronomic responses. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 106, 289-301.
38. Wang, L., Dekroon, H. & Smits, A. J. (2007).Combined effects of partial root drying and patchy fertilizer placement on nutrient acquisition and growth of oilseed rape. *Plant and Soil*, 295, 207-216.
39. Zegbe, J. A., Behboudian, M. H. & Clothier, B. E. (2006). Responses of 'Pet pride' processing tomato to partial root zone drying at different phonological stages. *Irrigation Science*, 24, 203- 210.